فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۲۹، تابستان ۹۳

بررسی تغییرات جریان رودخانه بار نیشابور تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم

سیاوش طائی سمیرمی[۱]

حمید رضا مرادی[۲*]

hrmoradi@modares.ac.ir

مرتضی خداقلی[۳]

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی اثرات ناشی از تغییر اقلیم روی دما، بارندگی و رواناب در حوضه آبخیز بار نیشابور با استفاده از خروجی‌های مدل Hadcm3 تحت سه سناریو A2, A1B و B1 برای ۲۰۳۰-۲۰۱۰، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ انجام گرفت. پس از ارزیابی کارایی مدل LARS-WG در ریز مقیاس‌سازی متغیرهای بارش و دما، تغییرات ماهانه آن‌ها برای سه دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۷۱ مورد بررسی قرار گرفت. هر سه سناریو نتایج تقریباً مشابهی مبنی بر کاهش بارش و افزایش تابش، دمای حداقل و دمای حداکثر در دوره‌های آتی نشان دادند. به عنوان مثال نتایج حاصل از سناریو A2 حاکی از افزایش میانگین سالانه دمای حداکثر و حداقل تقریباً به صورت یکسان و به میزان ۱/۱، ۳/۲ و ۴/۶ درجه سانتی‌گراد، افزایش تابش به میزان ۰/۰۷، ۰/۳۰ و ۰/۳۳ میلی ژول در مترمربع در روز و کاهش بارش به میزان ۱۶/۴، ۱۷/۶ و ۳۱/۹ درصد به ترتیب در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۷۱ می‌باشد. سپس متغیرهای تولید شده به عنوان ورودی مدل بارش-رواناب IHACRES قرار گرفت و بدین ترتیب جریان رودخانه برای دوره‌های آتی و تحت سناریوهای مختلف پیش‌بینی گردید. به عنوان مثال نتایج حاصل از سناریو A2 حاکی از آن است که جریان رودخانه ۹، ۴۴ و ۶۶ درصد به ترتیب در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. به طور کلی و با توجه به نتایج مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق مشاهده شد که دما و بارش در طول قرن ۲۱ به ترتیب افزایش و کاهش پیدا می‌کنند که این تغییرات، اثرات منفی زیادی بر روی جریان رودخانه بار نیشابور می‌تواند داشته باشد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، ریزمقیاس سازی، مدل IHACRES، مدل LARS-WG

۱- دانشجوی مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس.

۲- دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس (مسئول مکاتبات).

۳- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان.

مقدمه

بسیاری از دانشمندان بر این‌که تغییراقلیم باعث تغییر متغیرهای اقلیمی و وقایع حدی می‌شود توافق نظر دارند. افزایش گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر باعث تغییر در الگوی بارش و درجه حرارت می‌شود. تغییر در در بارش و درجه حرارت تغییرات زیادی بر روی سیکل هیدرولوژیکی می-گذارد. بنابراین تغییر در متغیرهای اقلیمی می‌تواند تاثیرات معنی‌داری بر جریان رودخانه‌ها در مقیاس منطقه‌ای مخصوصا مناطق نیمه خشک داشته باشد (۱). امروزه مدل‌های گردش عمومی جو (GCM[1]) قوی‌ترین ابزار جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم می‌باشند. به‌طوری‌که خروجی‌های این مدل‌ها به عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی قرار گرفته و به این ترتیب اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه بررسی می‌شود. یکی از ضعف‌های مدل‌های گردش عمومی جو پایین بودن دقت مکانی این مدل‌ها می‌باشند، لذا می‌بایستی با استفاده از روش‌های خاصی دقت این خروجی‌ها را بالا برد و آن‌ها را تا حد مقیاس ایستگاه و حوزه آبخیز ریزمقیاس نمود. از جمله روش‌های که برای ریزمقیاس‌سازی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو استفاده می‌شود می‌توان به روش‌های آماری و دینامیک اشاره کرد (۲). مدل LARS-WG[2] یکی از مشهورترین مدل‌های آماری که برای تولید بارش روزانه، تابش، بیشینه و کمینه درجه حرارت-های روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به‌کار می‌رود (۶-۳). اولین نسخه LARS-WG در Budapest (۱۹۹۰) به عنوان ابزاری برای ریز مقیاس نمائی به روش آماری در کشور مجارستان ابداع شد (۳). مدل LARS-WGبرای مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی توزیع‌های آماری پیچیده ای را به‌کار می‌برد. مبنای این مدل برای مدل-سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش، توزیع نیمه تجربی می‌باشد. سری‌های فوریه[3] درجه حرارت را تخمین می‌زنند. درجه حرارت‌های کمینه و بیشینه روزانه به‌صورت فرآیندهای تصادفی با میانگین و انحراف معیارهایی که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند. سری فوریه مرتبه سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی به‌کار می‌رود. مقادیر مانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین مشاهده شده به‌دست می‌آیند، در تحلیل خود همبستگی زمانی داده‌های کمینه و بیشینه مورد استفاده قرار می‌گیرند. خروجی-های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش می‌باشد. این مدل از سه بخش اصلی کالیبره کردن مدل، ارزیابی مدل و تولید داده‌های هواشناسی تشکیل شده است.

ریزمقیاس نمایی آماری سری‌های روزانه داده‌های بارش و دمای حاصل از مدل‌های AOGCM در دوره‌های آتی برای منطقه مورد مطالعه توسط مدل LARS-WG در سه مرحله مجزا صورت گرفت:

۱- واسنجی مدل: در این مرحله مدل با دریافت فایل داده‌های هواشناسی مشاهداتی منطقه در مقیاس روزانه (dat. *) و یک فایل حاوی اطلاعات جغرافیایی منطقه (St. *) اقدام به ساخت دو فایل پارامتر (WG. *) که مشخص کننده رفتار اقلیم منطقه در گذشته و فایل آماری (Sta. *) که شامل توزیع‌های آماری طول سری‌های خشک و تر و سایر داده‌های اقلیمی مشاهداتی است، می‌نماید که در فرآیند ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت.

۲- ارزیابی مدل: در این مرحله با تولید داده‌های آب و هوایی مصنوعی برای دوره مشاهداتی منطقه توسط مدل و مقایسه مشخصات داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل با داده‌های مشاهداتی، توانایی مدل در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی روزانه مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳- تولید داده‌های آب و هوایی در آینده: در این مرحله با استفاده از دو فایل مشخص کننده رفتار اقلیم در گذشته (WG. *) (ایجاد شده در مرحله۱) و سناریوی تغییر اقلیم

1- Global Cerculation Models
2- Long Ashton Reserch Station Weather Generator
3- Fourier series

(Sce. *)، اقدام به تولید داده‌های آب و هوایی برای دوره‌های آتی مورد مطالعه شد.

به این ترتیب با استفاده از مدل LARS-WG داده‌های دمای حداکثر، دمای حداقل، تابش و بارش در مقیاس حوضه کوچک مقیاس شدند. در نهایت این داده‌ها به عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گرفتند.

تاکنون مطالعات مختلفی به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی جریان رودخانه پرداخته‌اند

مطالعات خارجی:

Mkankam Kamga در سال ۲۰۰۱ به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه Benue در کامرون و به دنبال آن میزان تولید برق، کشاورزی و دیگر فعالیت‌های انسانی را با استفاده از داده‌های مدل‌های گردش عمومی $ECHAM_4$ و $HadCM_2$ و سه سناریوی IS92a، IS92c و IS92e مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که تا سال ۲۱۰۰ این منطقه می‌تواند شاهد افزایش بارندگی به میزان ۴ تا ۱۳ درصد، افزایش دما به میزان ۱ تا ۳ درجه سانتی‌گراد، افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل به میزان ۴ تا ۱۱ درصد و تغییرات متوسط سالانه جریان ۳- تا ۱۸+ درصد باشد (۷).

Hoffmann و همکاران در سال ۲۰۰۲ پتانسیل تاثیر تغییرات اقلیم را روی رژیم رودخانه و منابع آب بررسی کردند. در این تحقیق آنها مطابق با روندهای مشاهده شده در سری زمانی بارش به طور تجربی هیدروگراف‌های آینده را ترسیم کردند. مقایسه هیدروگراف آینده و حاضر نشان دادند که در مقیاس متوسط تاثیر اقلیم به شدت متغیر است. تغییر پذیری مکانی واکنش رودخانه‌ها نسبت به تغییر اقلیم به میزان زیادی بستگی به خصوصیات اقلیمی و فیزیوگرافیک زیر حوضه‌ها دارد و فصل زمستان بیشتر تحت تاثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرد (۸).

Huang با استفاده از سه مدل RCM به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی جریان‌های کمینه برای دوره‌های ۲۰۲۶-۲۰۶۱ و ۲۰۶۱-۲۱۰۰ در آلمان پرداختند. به منظور مدل‌سازی جریان رودخانه از مدل هیدرولوژیکی SWIM استفاده شد. نتایج حاکی از کاهش جریان کمینه در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (۹).

در داخل کشور نیز:

مساح در سال ۱۳۸۵، با استفاده از مدل های GCM تحت تمامی سناریوهای موجود SRES، اثر تغییر اقلیم را بر منابع آب در سه دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ مورد بررسی قرار داد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داده است که هر چه به انتهای قرن ۲۱ نزدیک می‌شویم، میزان افزایش دما در حوضه زاینده رود بیش‌تر می‌شود، ولی تغییرات بارندگی در این سه دوره روند خاصی را نشان نمی‌دهد. بررسی وضعیت رواناب ورودی به سد زاینده رود در فصول مختلف در دوره‌های آتی نشان از وجود احتمال بالا برای کاهش رواناب ورودی به سد نسبت به دوره پایه دارد (۱۰).

قربانی زاده خرازی و همکاران در سال ۱۳۸۹ با فرض دو سناریوی تغییر اقلیم، به پیش‌بینی رواناب برای دوره ۲۰۵۰ - ۲۰۰۰ در حوضه کارون پرداختند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که دبی در زمستان ۱۰٪ افزایش، در بهار و تابستان کاهش و در پاییز میزان دبی بدون تغییر باقی خواهد ماند (۱۱).

الهی در سال ۱۳۸۵ در بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب در حوضه امامه طی سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۲، به نتایج زیر دست یافت:

دما افزایش شدید و معنی‌داری را در تمام فصول سال (بیش-ترین مقدار آن در فصول زمستان ($3/8^{\circ}C$)) و کم‌ترین مقدار آن در فصل پاییز ($1/7^{\circ}C$)) نشان می‌دهد.

مجموع بارش سالانه روند مشخصی نشان نمی‌دهد، اما در میزان بارندگی پاییزه افزایشی مشاهده شده است و هم چنین بارش فصل زمستان روند کاهشی معنی‌داری را نشان می‌دهد. رواناب سالانه نیز روند مشخص و معنی‌داری نشان نمی‌دهد. اما در فصل بهار روند کاهشی و فصل زمستان روند افزایشی مشاهده می‌گردد (۱۲).

مساح بوانی و سادات آشفته در سال ۱۳۸۹، با استفاده از مدل HadCM3[1] و سناریو A2 به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر دبی-های حداکثر در حوزه آبخیز آیدوغموش واقع در استان آذربایجان شرقی پرداختند. نتایج حاکی از افزایش دما به اندازه ۱/۵ تا ۴/۰ درجه و تغییرات ۳۰ تا ۴۰ درصدی بارندگی دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ نسبت به دوره مشاهداتی ۲۰۰۰-۱۹۷۱می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از مدل IHACRES رواناب حوزه شبیه‌سازی شد. مقایسه رژیم دبی‌های حداکثر سالانه (شدت و فراوانی) در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ با دوره مشاهداتی نشان از تاثیر تغییر اقلیم بر رژیم دبی‌های حداکثر این حوضه در دوره‌های آتی دارد. به طوری‌که شدت دبی‌ها برای دوره بازگشت‌های تا ۵۰ سال تفاوت چندانی نکرده و با افزایش دوره بازگشت، شدت آن در دوره آتی افزایش خواهد یافت. همچنین احتمال وقوع دبی‌های حداکثر با مقدار معین در دوره آتی نسبت به پایه کمتر خواهد بود (۱۳).

مدرسی و همکاران (۱۳۹۰) برای انتخاب مناسب‌ترین مدل گردش عمومی برای پیش بینی اقلیم آینده حوضه آبخیز گرگانرود، خروجی‌های بارش، دمای حداقل و حداکثر سناریوهای تمامی مدل‌ها با آمار متوسط حوضه در بازه زمانی (۱۳۸۶-۱۳۵۶) مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که سناریوی B2 از مدل HadCM3 مناسب‌ترین سناریو و مدل برای منطقه مورد مطالعه می‌باشد و در شرایط پیش‌بینی شده توسط این سناریو و مدل برای ۳۰ سال آینده، حجم آبدهی سالانه رودخانه گرگانرود در ایستگاه تمر که در بالا دست سه سد گلستان، بوستان و وشمگیر قرار دارد، در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال به ترتیب ۱/۳۸ درصد و ۱/۳۳ درصد کاهش خواهد یافت (۱۴).

با توجه به نتایج مطالعات انجام شده مشاهده می-شود که عموماً تحت شرایط تغییراقلیم بارش کاهش، دما افزایش و به تبع آن جریان رودخانه کاهش می‌یابد.

تحقیق حاضر بر آن است که جریان رودخانه بار نیشابور را با استفاده از خروجی‌های مدلHadcm3 تحت سه سناریو A2, A1B و B1 برای سه دوره۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ پیش‌بینی کند. همان‌طور که بیان گردید برای آن‌که خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی قرار گیرند می‌بایستی ریزمقیاس سازی شوند. در این تحقیق مدل LARS-WG برای ریز مقیاس سازی متغیرهای اقلیمی استفاده گردید (۶) همچنین برای مدل سازی جریان رودخانه مدل بارش- رواناب IHACRES مورد استفاده قرار گرفت (۱۳).

مطالعات محدودی در داخل کشور به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی جریان رودخانه پرداخته اند. این تحقیق برای اولین بار در کشور از خروجی مدل LARS-WG به عنوان ورودی مدل بارش- رواناب IHACRES برای بررسی اثرات تغییر اقلیم استفاده می‌کند. همچنین انجام این تحقیق بر روی رودخانه بار نیشابور که بالا دست سد بار قرار گرفته و تأثیر زیادی در آب‌گیری سد دارد از جمله نوآوری‌های این تحقیق به‌شمار می‌رود.

هدف اصلی این تحقیق پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی تحت شرایط تغییراقلیم، بررسی تغییرات متغیرهای مورد پیش‌بینی نسبت به داده‌های مشاهداتی و در نهایت پیش‌بینی و مدل سازی جریان رودخانه تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم می‌باشد.

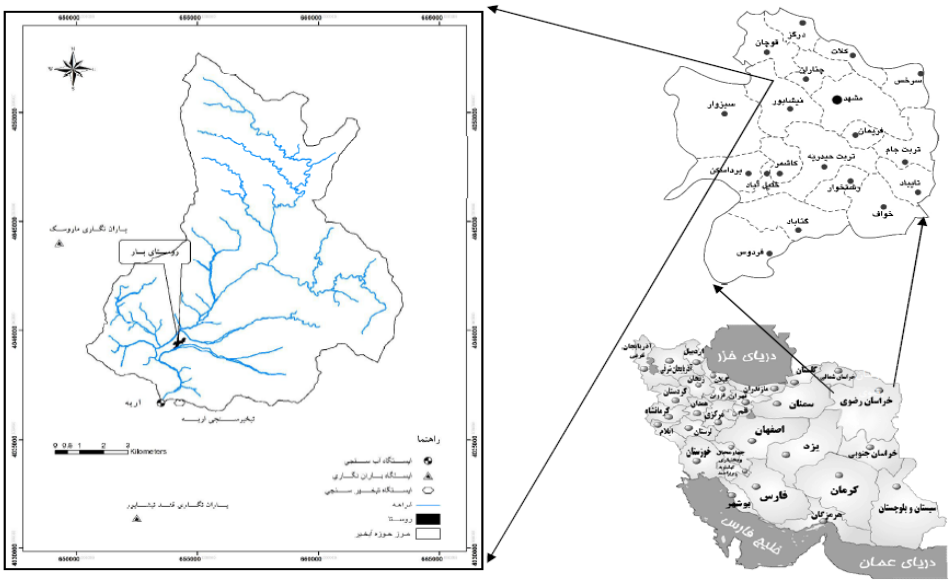
مواد و روش‌ها

۲-۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدودهٔ مورد مطالعه حوزه آبخیز بار – اریه نیشابور است. این حوضه به مساحت ۱۱۳۸۸ هکتار در جنوب غربی سلسله جبال بینالود قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه در ۸۲ کیلومتری شمال غربی مشهد واقع شده است. حوزه آبخیز مذکور در موقعیت "۳۸ '۲۷ °۳۶ تا "۳۲ '۳۶ °۳۶ عرض شمالی و "۴۶ '۴۰ °۵۸ تا "۳۱ '۴۹ °۵۸ طول شرقی قرار دارد. میانگین

1- Hadley Centre Coupled Model of United Kingdom

ارتفاع حوزه آبخیز ۲۲۲۶ متر، حداکثر ارتفاع حدود ۲۸۶۱ متر و حداقل ارتفاع در خروجی حوزهٔ آبخیز و در محل ایستگاه هیدرومتری ۱۵۸۰ متر می‌باشد. در حوزهٔ آبخیز مورد نظر رودخانه بار با طول آبراهه اصلی ۲۲/۵ کیلومتر و شیب متوسط ۴/۲٪ جریان داشته که به دشت نیشابور منتهی می‌گردد. آب و هوای منطقه این دشت بر اساس روش دومارتن؛ بری، نیمه‌خشک و متوسط درجه حرارت سالانه آن ۵/۴ درجه سانتی‌گراد، می‌باشد (۱۵).



شکل ۱- موقعیت سیمای کلّی حوزهٔ آبخیز بار در استان خراسان رضوی وکشور

در حوزه آبخیز بار سه نوع کاربری مرتع، کشاورزی و مسکونی وجود دارد. قسمت اعظم منطقه را مراتع تشکیل می‌دهد. تنها حدود ۵۰۰ هکتار از منطقه را باغ و اراضی مسکونی اشغال کرده است. به‌طور کلی زراعت آبی در روستا وجود ندارد. تمامی زمین‌های زراعی آبی به باغ تبدیل شده‌اند و تنها در زمین‌های دیم محصولات زراعی کشت می‌شود. کاشت گیاهان زراعی شامل گندم و جو به صوت دیم است (۱۶).

۲-۲ ایجاد پایگاه داده و انتخاب ایستگاه ها

برای انجام این تحقیق از داده‌های دبی، بارش، تابش و درجه حرارت اشاره کرد. به دلیل عدم اندازه‌گیری متغیر تابش در ایستگاه‌های موجود در شهرستان و حوضه، آمار این متغیر از ایستگاه سینوپتیک مشهد تهیه شد. (جدول ۱)

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	سال تاسیس	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	بار- اریه	کلیماتولوژی	۳۶°۲۹'	۵۸° ۴۲'	۱۳۲۹	۱۵۲۰
۲	بار- اریه	هیدرومتری	۳۶°۲۹'	۵۸° ۴۲'	۱۳۲۹	۱۵۲۰
۳	کارخانه قند	باران سنجی	۳۶° ۱۷'	۵۸° ۶۶'	۱۳۶۵	۱۰۷۴
۴	ماروسک	باران سنجی	۳۶° ۸'	۵۸° ۲۲'	۱۳۶۹	۱۹۰۰
۵	مشهد	سینوپتیک	۳۶° ۱۶'	۵۹° ۳۸'	۱۳۲۸	۹۹۰

پس از جمع آوری اطلاعات مورد نیاز، صحت داده‌ها در محیط نرم افزار SPSS[1] بررسی شد. در این تحقیق جهت رفع نواقص آماری از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها استفاده شد. به منظور پیش‌بینی جریان رودخانه، ابتدا با استفاده از داده‌های روزانه دبی مشاهداتی (۴۱ سال) و مدل بارش- رواناب IHACRES جریان رودخانه مدل سازی گردید.

۳-۴ مدل بارش- رواناب IHACRES

IHACRES یک مدل یکپارچه مفهومی- متریک برای شبیه‌سازی بارش- رواناب می‌باشد که توسط Croke در سال ۲۰۰۸ و Motovilov در سال ۱۹۹۹ توسعه یافت (۱۷و ۱۸). در این مطالعه از نسخه IHACRES v2.1 استفاده شده است که برای آبخیزهای دارای داده‌های پیوسته بارش، دما و دبی کاربرد دارد. این مدل شامل دو بخش به هم پیوسته غیرخطی و خطی است که به ترتیب برای محاسبه تلفات و تبدیل بارش موثر به رواناب تعریف شده است (۱۷ و ۱۸). مدل IHACRES با وجود این‌که به داده‌های کمتری به عنوان ورودی نیاز دارد، می‌تواند نتایج مناسبی را ارایه دهد (۱۹). بر این اساس در تحقیق حاضر از مدل IHACRES برای تخمین جریان رودخانه بار نیشابور استفاده شده است. داده‌های روزانه بارندگی (میلی‌متر) و دما (درجه سانتی‌گراد) به‌عنوان متغیرهای ورودی برای شبیه‌سازی جریان و داده‌های مشاهداتی دبی روزانه (مترمکعب در ثانیه) در ایستگاه‌های هیدرومتری برای سنجش دقت مدل IHACRES مورد استفاده قرار گرفت. برای اجرای این مدل ۳۴ سال از دوره آماری ۴۱ ساله برای واسنجی و ۷ سال برای مرحله ارزیابی مدل انتخاب گردید. به این ترتیب، نتایج مدل‌سازی جریان رودخانه ارزیابی و میزان کارایی مدل مذکور در برآورد دبی متوسط روزانه مشخص گردید.

۳-۴-۱ واسنجی و اعتبار سنجی مدل IHACRES

با تجزیه و تحلیل آمار هیدرومتری ایستگاه، دوره‌های (۱۹۷۰ تا ۲۰۰۳) و (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰) به ترتیب برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل انتخاب گردید. فرایند واسنجی مدل شامل تخمین پارامترهایی است که حداقل تابع هدف را مشخص می‌نمایند (۲۰). در واسنجی مدل IHACRES مقادیر ثابت زمانی خشکی آبخیز τ_w و فاکتور تعدیل دما f در بخش غیرخطی مدل به‌صورت دستی توسط کاربر انتخاب گردید و مقادیر پارامترها در بخش روندیابی خطی مدل و پارامتر $1/c$ (ثابت میزان ذخیره آبخیز) توسط خود نرم‌افزار محاسبه شد. در ارزیابی نتایج شبیه‌سازی پیوسته جریان در مدل از معیارهای آماری ضریب تعیین ($R sqrt$)، ریشه مربعات (R^2sqrt)، لگاریتم (R^2log)، مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و عکس مقادیر (R^2_{Inv})، مختلفی استفاده می‌شود (۱۷ و ۲۱). بجز مجذور میانگین مربعات خطا سایر معیارها بر اساس معیار ضریب تعیین بنا نهاده شده‌اند (۱۴). پس از اطمینان از توان‌مندی مدل بارش-رواناب IHACRES در مدل‌سازی

1- Statistical package for social Scinse

جریان رودخانه بار اقدام به ریزمقیاس سازی متغیرهای اقلیمی پیش‌بینی شده توسط مدل LARS-WG تحت سه سناریو A2, A1B و B1 برای دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ گردید. هر یک از سناریوهای مورد مطالعه شرایط متفاوتی برای آینده کره زمین در نظر می‌گیرد. به عنوان مثال:

A1FI: تصور جهانی در آینده با رشد اقتصادی خیلی سریع و کاربرد شدید سوخت فسیلی.

A1T: تصور جهانی در آینده با رشد اقتصادی خیلی سریع و ایجاد تکنولوژی جدید موثرتر.

A1B: تصور جهانی در آینده با رشد اقتصادی خیلی سریع و ایجاد تکنولوژی جدید به همراه کاربرد سوخت فسیلی.

A2: تصور جهانی در آینده با رشد اقتصادی متوسط و نرخ آلودگی بیشتر از A1.

B1: تصور جهانی با تغییر سریع در ساختارهای اقتصادی، ایجاد تکنولوژی‌های تمیز و پایین‌ترین نرخ رشد آلودگی.

B2: تصور جهانی با تاکید بر راه‌حل‌های محلی برای پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی، رشد اقتصادی متوسط و نرخ رشد آلودگی کمتر از A2.

۳-۲ ریز مقیاس سازی متغیرهای اقلیمی

یکی از ضعف‌های مدل‌های GCM بزرگ بودن مقیاس مکانی متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده می‌باشد. لذا این متغیرها برای مطالعات هیدرولوژی و منابع آب در محدوده حوزه‌های آبخیز از دقت کافی برخوردار نیستند. بنابراین می‌بایستی آن‌ها را توسط روش‌های مختلف کوچک مقیاس نمود. در این تحقیق از مدل LARS-WG[1] برای ریز مقیاس سازی داده‌های اقلیمی استفاده گردید. از جمله ورودی‌های این مدل می‌توان به دمای حداکثر، دمای حداقل، دمای میانگین، بارش و ساعت آفتابی یا تابش اشاره کرد. سپس به منظور بررسی عملکرد مدل از روش ترسیمی استفاده گردید. پس از اینکه توانمندی مدل LARS-WG در مدل‌سازی متغیرهای اقلیمی مورد نظر مشخص شد. اقدام به پیش‌بینی این متغیرها تحت سه سناریو A1,A2 و B1 برای دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ گردید. سپس تغییرات این متغیرها نسبت به دوره پایه مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت متغیرهای ریزمقیاس شده بارش و دما به عنوان ورودی مدل IHACRES قرار گرفت و بدین ترتیب جریان رودخانه برای دوره‌های آتی پیش‌بینی شد.

۴ بحث و نتیجه‌گیری

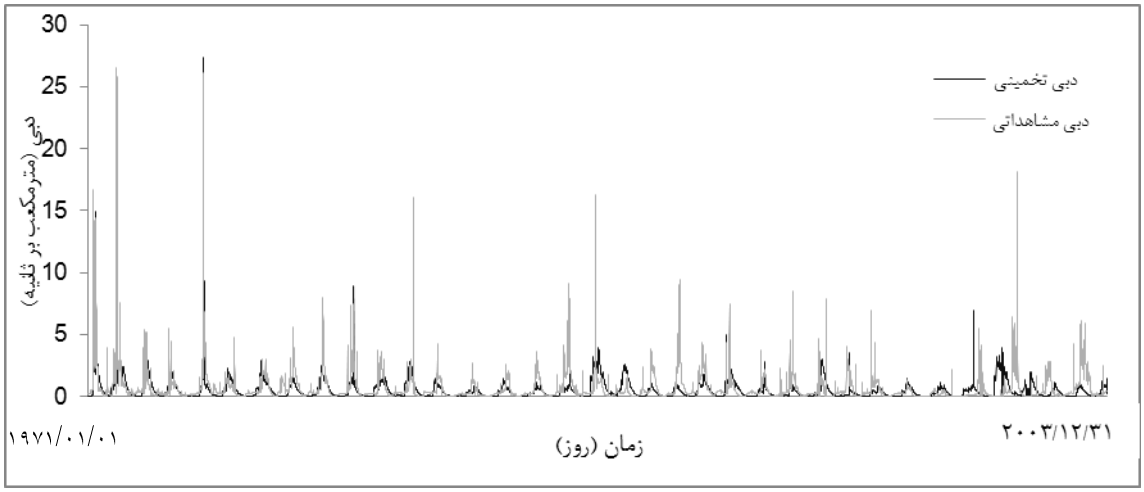
۴-۱ مدل‌سازی جریان رودخانه با استفاده مدل IHACRES

به منظور مدل سازی جریان رودخانه ابتدا توانمندی مدل IHACRES در دو مرحله واسنجی و اعتبار سنجی مورد بررسی قرار گرفت.

۴-۱-۱ واسنجی مدل IHACRES

مقایسه ظاهری هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده امکان ارزیابی کلی و سریع دقت مدل را فراهم می‌نماید. بر این اساس، مقایسه ترسیمی مقادیر جریان روزانه‌ی شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای مرحله واسنجی در سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۳ در ایستگاه مورد مطالعه در شکل ۲ ارایه شده است. بر اساس این اطلاعات می‌توان گفت که نتایج شبیه‌سازی مدل دارای تطابق خوبی با داده‌های مشاهداتی در مرحله واسنجی می‌باشد. هم‌چنین نتایج شبیه‌سازی جریان در مرحله واسنجی مدل بر اساس معیارهای آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصله در جدول ۲ ارایه شده است.

1- Long Ashton Reserch Station Weather Generator



شکل ۲ - مقادیر جریان روزانه‌ی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای مرحله واسنجی با استفاده از مدل IHACRES در ایستگاه مورد مطالعه

جدول۲- مقادیر معیارهای ارزیابی نتایج شبیه‌سازی جریان در مرحله اعتبارسنجی مدل IHACRES

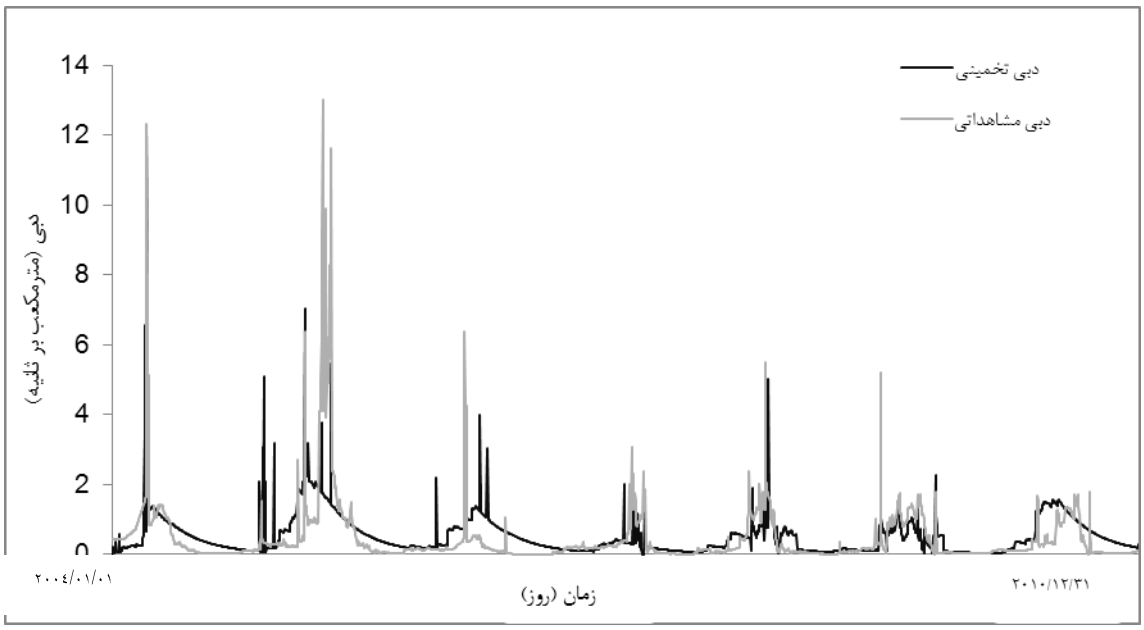
مراحل ارزیابی	ضریب همبستگی (R)	ضریب تبیین ($R\ sqrt$)	لگاریتم مربعات خطا ($R^2\ log$)	ریشه مربعات خطا ($R^2\ sqrt$)	عکس مربعات خطا ($R^2\ Inv$)	ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$)	قدر مطلق خطا (MAE)
واسنجی	۰/۷۵	۰/۵۶	۰/۲۹	۰/۵۰	۲/۱۱	۱/۱۹	۰/۲
صحت سنجی	۰/۶	۰/۳۸	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۸۶	۰/۹۷	۰/۱

با استفاده از اطلاعات جدول ۲، در ایستگاه مورد مطالعه، مقادیر معیارهای ارزیابی قابل مشاهده است. درصورتی‌که مقادیر ضریب تعیین در ارزیابی مدل بزرگتر یا مساوی ۰/۷۵ باشد، نتایج خوب و در صورتی که این مقدار بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد، نتایج شبیه‌سازی قابل قبول می‌باشد. با توجه به نتایج جدول ۲ مشاهده می‌شود که ضریب تبیین ۰/۵۶ و ۰/۳۸ به ترتیب برای مرحله واسنجی و صحت سنجی است که نشان از توانایی قابل قبول مدل بارش-رواناب IHACRES در مدل جریان رودخانه می‌باشد (۱۸).

پس از جمع آوری اطلاعات مورد نیاز، صحت داده‌ها در محیط نرم افزار SPSS[1] بررسی شد. در این تحقیق جهت رفع نواقص آماری از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها استفاده شد. به منظور پیش‌بینی جریان رودخانه، ابتدا با استفاده از داده-

1- Statistical package for social Scinse

های روزانه دبی مشاهداتی (۴۱ سال) و مدل بارش- رواناب IHACRES جریان رودخانه مدل سازی گردید.



شکل ۳- مقادیر جریان روزانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه مورد مطالعه

۳-۴ مدل بارش- رواناب IHACRES

IHACRES یک مدل یکپارچه مفهومی- متریک برای شبیه‌سازی بارش- رواناب می‌باشد که توسط Croke در سال ۲۰۰۸ و Motovilov در سال ۱۹۹۹ توسعه یافت (۱۷و ۱۸). در این مطالعه از نسخه IHACRES v2.1 استفاده شده است که برای آبخیزهای دارای داده‌های پیوسته بارش، دما و دبی کاربرد دارد. این مدل شامل دو بخش به هم پیوسته غیرخطی و خطی است که به ترتیب برای محاسبه تلفات و تبدیل بارش موثر به رواناب تعریف شده است (۱۷ و ۱۸). مدل IHACRES با وجود این‌که به داده‌های کمتری به عنوان ورودی نیاز دارد، می‌تواند نتایج مناسبی را ارایه دهد (۱۹). بر این اساس در تحقیق حاضر از مدل IHACRES برای تخمین جریان رودخانه بار نیشابور استفاده شده است. داده‌های روزانه بارندگی (میلی‌متر) و دما (درجه سانتی‌گراد) به‌عنوان متغیرهای ورودی برای شبیه‌سازی جریان و داده‌های مشاهداتی دبی روزانه (مترمکعب در ثانیه) در ایستگاه‌های هیدرومتری برای سنجش دقت مدل IHACRES مورد استفاده قرار گرفت. برای اجرای این مدل ۳۴ سال از دوره آماری ۴۱ ساله برای واسنجی و ۷ سال برای مرحله ارزیابی مدل انتخاب گردید. به این ترتیب، نتایج مدل‌سازی جریان رودخانه ارزیابی و میزان کارایی مدل مذکور در برآورد دبی متوسط روزانه مشخص گردید.

۳-۴-۱ واسنجی و اعتبار سنجی مدل IHACRES

با تجزیه و تحلیل آمار هیدرومتری ایستگاه، دوره‌های (۱۹۷۰ تا ۲۰۰۳) و (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰) به ترتیب برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل انتخاب گردید. فرایند واسنجی مدل شامل تخمین پارامترهایی است که حداقل تابع هدف را مشخص می‌نمایند (۲۰). در واسنجی مدل IHACRES مقادیر ثابت زمانی خشکی آبخیز τ_w و فاکتور تعدیل دما f در بخش غیرخطی مدل به‌صورت دستی توسط کاربر انتخاب گردید و مقادیر پارامترها در بخش روندیابی خطی مدل و پارامتر $1/c$

(ثابت میزان ذخیره آبخیز) توسط خود نرم‌افزار محاسبه شد. در ارزیابی نتایج شبیه‌سازی پیوسته جریان در مدل از معیارهای آماری ضریب تعیین ($R sqrt$)، ریشه مربعات (R^2sqrt)، لگاریتم (R^2log)، مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و عکس مقادیر (R^2_{Inv})، مختلفی استفاده می‌شود (۱۷ و ۲۱). بجز مجذور میانگین مربعات خطا سایر معیارها بر اساس معیار ضریب تعیین بنا نهاده شده‌اند (۱۴). پس از اطمینان از توان‌مندی مدل بارش-رواناب IHACRES در مدل‌سازی جریان رودخانه بار اقدام به ریزمقیاس سازی متغیرهای اقلیمی پیش‌بینی شده توسط مدل LARS-WG تحت سه سناریو A2, A1B و B1 برای دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ گردید. هر یک از سناریوهای مورد مطالعه شرایط متفاوتی برای آینده کره زمین در نظر می‌گیرد. به عنوان مثال:

A1FI: تصور جهانی در آینده با رشد اقتصادی خیلی سریع و کاربرد شدید سوخت فسیلی.

A1T: تصور جهانی در آینده با رشد اقتصادی خیلی سریع و ایجاد تکنولوژی جدید موثرتر.

A1B: تصور جهانی در آینده با رشد اقتصادی خیلی سریع و ایجاد تکنولوژی جدید به همراه کاربرد سوخت فسیلی.

A2: تصور جهانی در آینده با رشد اقتصادی متوسط و نرخ آلودگی بیشتر از A1.

B1: تصور جهانی با تغییر سریع در ساختارهای اقتصادی، ایجاد تکنولوژی‌های تمیز و پایین‌ترین نرخ رشد آلودگی.

B2: تصور جهانی با تاکید بر راه‌حل‌های محلی برای پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی، رشد اقتصادی متوسط و نرخ رشد آلودگی کمتر از A2.

۲-۳ ریز مقیاس سازی متغیرهای اقلیمی

یکی از ضعف‌های مدل‌های GCM بزرگ بودن مقیاس مکانی متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده می باشد. لذا این متغیرها برای مطالعات هیدرولوژی و منابع آب در محدوده حوزه‌های آبخیز از دقت کافی برخوردار نیستند. بنابراین می‌بایستی آن‌ها را توسط روش‌های مختلف کوچک مقیاس نمود. در این تحقیق از مدل LARS-WG[1] برای ریز مقیاس سازی داده‌های اقلیمی استفاده گردید. از جمله ورودی‌های این مدل می‌توان به دمای حداکثر، دمای حداقل، دمای میانگین، بارش و ساعت آفتابی یا تابش اشاره کرد. سپس به منظور بررسی عملکرد مدل از روش ترسیمی استفاده گردید. پس از این که توانمندی مدل LARS-WG در مدل‌سازی متغیرهای اقلیمی مورد نظر مشخص شد. اقدام به پیش‌بینی این متغیرها تحت سه سناریو A1,A2 و B1 برای دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ گردید. سپس تغییرات این متغیرها نسبت به دوره پایه مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت متغیرهای ریز مقیاس شده بارش و دما به عنوان ورودی مدل IHACRES قرار گرفت و بدین‌ترتیب جریان رودخانه برای دوره‌های آتی پیش‌بینی شد.

۴ بحث و نتیجه‌گیری

۴-۱ مدل‌سازی جریان رودخانه با استفاده مدل IHACRES

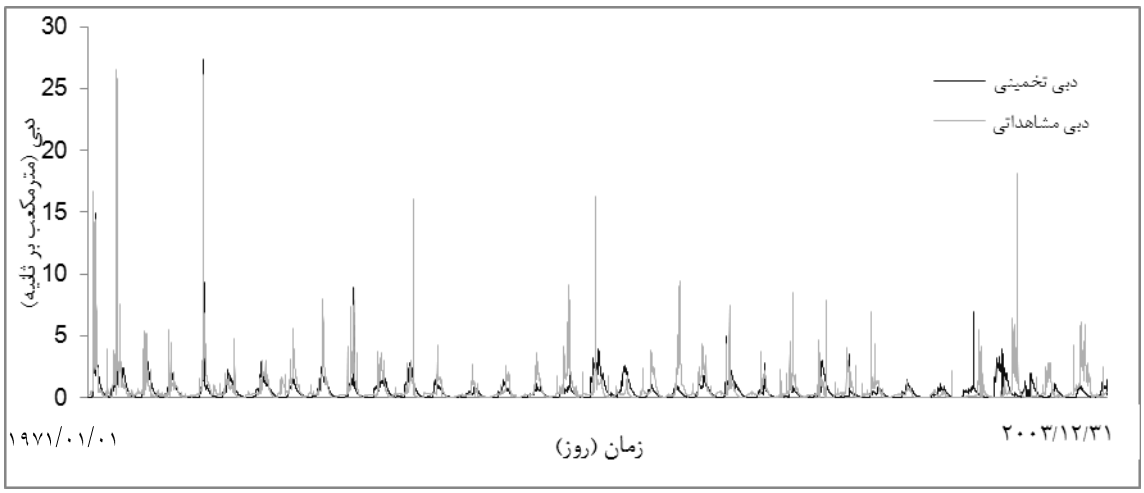
به منظور مدل‌سازی جریان رودخانه ابتدا توانمندی مدل IHACRES در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مورد بررسی قرار گرفت.

۴-۱-۱ واسنجی مدل IHACRES

مقایسه ظاهری هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده امکان ارزیابی کلی و سریع دقت مدل را فراهم می‌نماید. بر این اساس، مقایسه ترسیمی مقادیر جریان روزانه‌ی شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای مرحله واسنجی در سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۳ در ایستگاه مورد مطالعه در شکل ۲ ارایه شده است. بر اساس این اطلاعات می‌توان گفت که نتایج شبیه‌سازی مدل دارای تطابق خوبی با داده‌های مشاهداتی در مرحله واسنجی می‌باشد. هم‌چنین نتایج شبیه‌سازی جریان در

1 -Long Ashton Reserch Station Weather Generator

مرحله واسنجی مدل بر اساس معیارهای آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصله در جدول ۲ ارایه شده است.



شکل ۲- مقادیر جریان روزانه‌ی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای مرحله واسنجی با استفاده از مدل IHACRES در ایستگاه مورد مطالعه

جدول۲ - مقادیر معیارهای ارزیابی نتایج شبیه‌سازی جریان در مرحله اعتبارسنجی مدل IHACRES

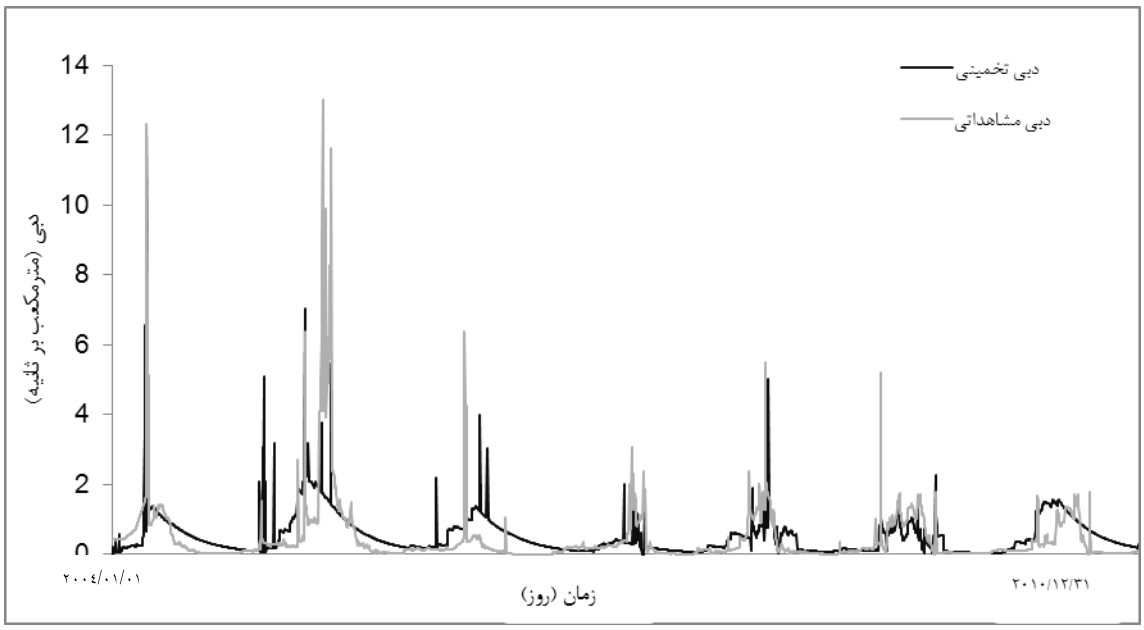
مراحل ارزیابی	ضریب همبستگی (R)	ضریب تبیین ($R\ sqrt$)	لگاریتم مربعات خطا ($R^2\ log$)	ریشه مربعات خطا ($R^2\ sqrt$)	عکس مربعات خطا ($R^2\ Inv$)	ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$)	قدر مطلق خطا (MAE)
واسنجی	۰/۷۵	۰/۵۶	۰/۲۹	۰/۵۰	۲/۱۱	۱/۱۹	۰/۲
صحت سنجی	۰/۶	۰/۳۸	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۸۶	۰/۹۷	۰/۱

با استفاده از اطلاعات جدول ۲، در ایستگاه مورد مطالعه، مقادیر معیارهای ارزیابی قابل مشاهده است. درصورتی‌که مقادیر ضریب تعیین در ارزیابی مدل بزرگ تر یا مساوی ۰/۷۵ باشد، نتایج خوب و درصورتی که این مقدار بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد، نتایج شبیه‌سازی قابل قبول می‌باشد. با توجه به نتایج جدول ۲ مشاهده می‌شود که ضریب تبیین ۰/۵۶ و ۰/۳۸ به ترتیب برای مرحله واسنجی و صحت سنجی است که نشان از توانایی قابل قبول مدل بارش-رواناب IHACRES در مدل جریان رودخانه می‌باشد (۱۸).

۴-۱-۲ اعتبارسنجی مدل IHACRES

مقایسه ترسیمی مقادیر جریان روزانه‌ی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله اعتبارسنجی در سال‌های (۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰) برای ایستگاه مورد مطالعه در شکل۳ ارایه شده است. هم‌چنین نتایج ارزیابی کمی در جدول ۲ ارایه شده است. نتایج ارزیابی

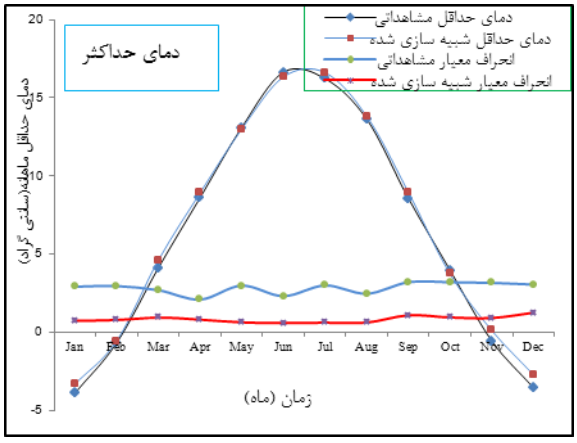
مدل به روش ترسیمی نیز همانند ارزیابی آماری نیـز حـاکی از دقت قابل قبول مدل در مدل سازی جریان رودخانه می‌باشد.

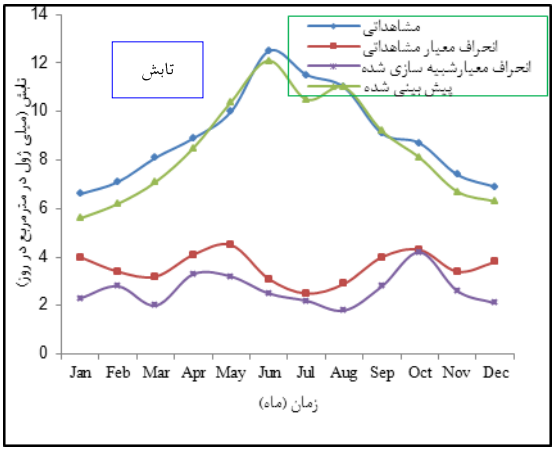


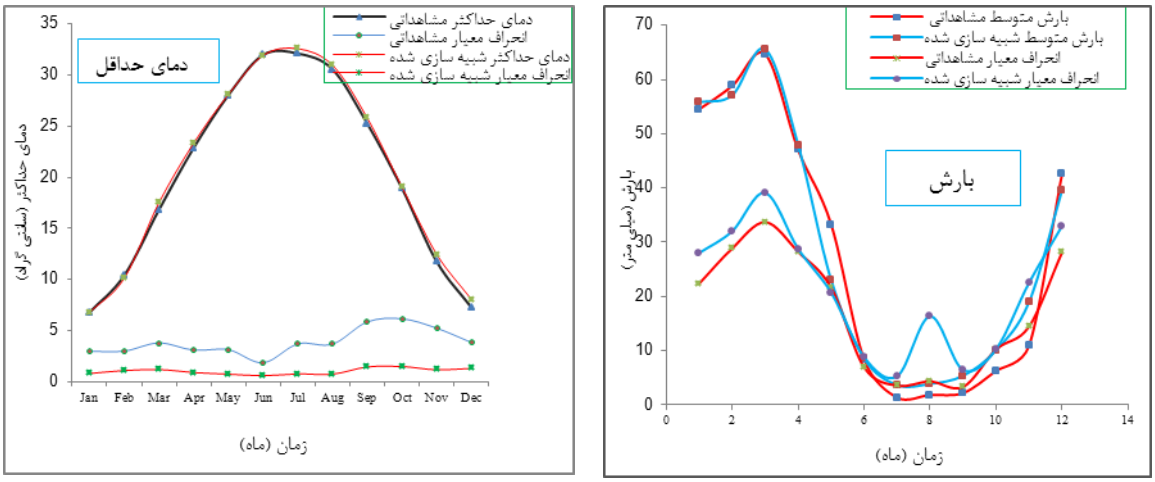
شکل ۳- مقادیر جریان روزانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای مرحله اعتبارسنجی در ایستگاه مورد مطالعه

۲-۴ ارزیابی مدل LARS-WG

پـس از ارزیـابی مـدل IHACRES اقـدام بـه ارزیـابی مـدل ریز مقیاس سازی LARS-WG شد. نتایج حاصـل از ارزیـابی این مدل در شکل۴ ارایه شده است.



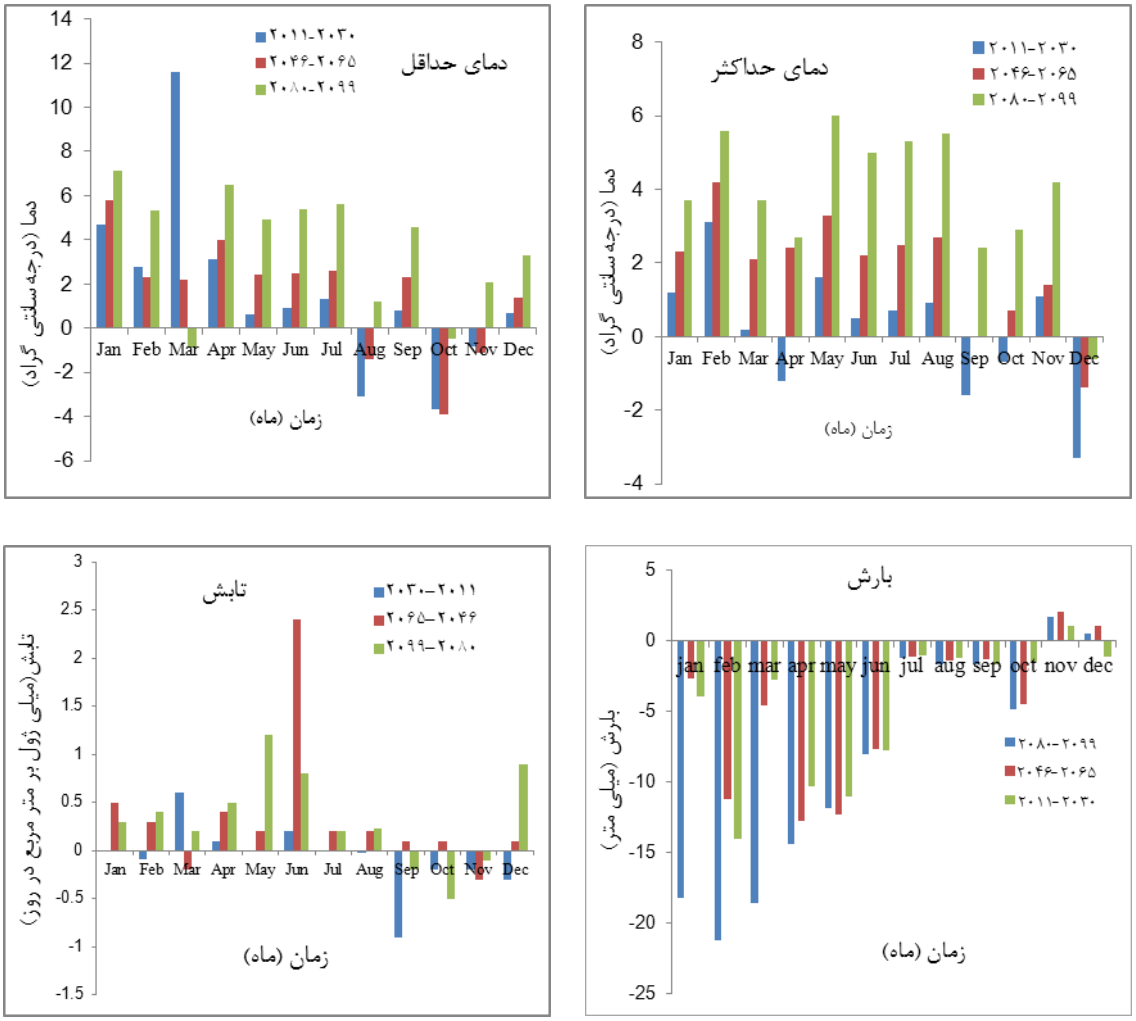




شکل ۴- نتایج حاصل از ارزیابی مدل LARS-WG

باتوجه به نتایج حاصل از شکل ۴ مشخص شد که مدل با دقت قابل قبولی توانسته است بارش را برای دوره پایه مدل‌سازی کند. نکته جالب توجه در این تحقیق (شکل ۴) تغییرات مقادیر انحراف معیار با مقادیر بارش ماهانه در فصل تابستان می‌باشد که بعضاً از مقادیر بارش ماهانه نیز بزرگتر هستند. این امر حاکی از عدم اطمینان بالا به بارش‌های فصل مذکور است دلیل این امر را می‌توان به این نسبت داد که بارندگی از تغییر پذیرترین متغیرهای اقلیمی بوده و همچنین بارش دارای عدم پیوستگی زمانی است. این نتایج با یافته‌های (۲۲-۲۴) همخوانی دارد. با توجه به این نتایج احتمال می‌رود که مدل LARS-WG در ماه‌های با بارش کم، دقت خوبی در شبیه-سازی بارش ندارد. در این تحقیق به‌دلیل اینکه سهم بارش ماه-های تابستان در کل سال فقط ۲ درصد می‌باشد، لذا خطای آن تأثیر قابل توجهی بر روی مدل سازی بارش سالانه و فصول عمده بارش در این تحقیق ندارد. با توجه به نتایج شکل ۴ و مشاهده می‌شود که مدل به جز ماه‌های ژانویه و سپتامبر توانایی مناسبی در مدل‌سازی تابش دارد و در بین مقادیر مشاهداتی و برآورد شده اختلاف معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد وجود ندارد. نتایج حاصل از مدل‌سازی دمای حداکثر و دمای حداقل نیز گویای توانایی بالای مدل LARS-WG در مدل-سازی این متغیرها می‌باشد. پس از آن‌که توان‌مندی مدل LARS-WG در ریز مقیاس سازی متغیرهای تابش، بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر مورد تایید قرار گرفت اقدام به پیش‌بینی این متغیرها با استفاده از خروجی‌های مدل Hadcm3 تحت سناریوهای مختلف برای سه دوره مورد پیش‌بینی (۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰) شد.

۴-۳ بررسی تغییرات متغیرهای پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه



شکل ۵- بررسی تغییرات متغیرهای مورد مطالعه نسبت به دوره پایه

۴-۳-۱ بررسی تغیرات بارش

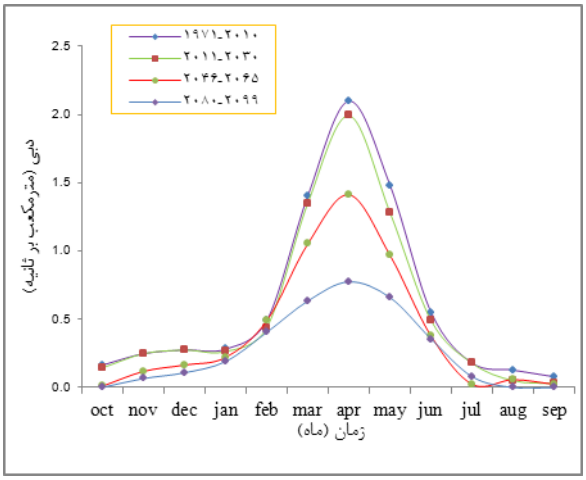
با توجه به شکل ۵ مشخص می‌شود بارش ماهانه عموماً در طول قرن ۲۱ کاهش پیدا می‌کند. یکی از دلایل احتمالی کاهش بارش در طول قرن ۲۱ را می‌توان افزایش روند گرمایی در سطح زمین دانست. تغییر اقلیم به دو شکل می‌تواند بر روی بارش نقش داشته باشد. یکی به شکل تغییر در مقدار بارش و دیگری تغییرات زمانی الگوی بارش می‌باشد. همان‌طورکه از روی شکل۵ مشخص است بارش تا پایان قرن ۲۱ به طور کلی کاهش پیدا می‌کند. نکته جالب توجه در این تحقیق تغییرات زمانی الگوی بارش می‌باشد. مثلاً هر چه به پایان قرن حاضر نزدیک می‌شویم ملاحظه می‌گردد که بارش در ماه‌های اول سال کاهش پیدا کرده و در ماه‌های آخر سال، اندکی افزایش پیدا می‌کند. با توجه به شکل ۵ بارش در ماه‌های دسامبر و نوامبر نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد که با نتایج تحقیقات (۲۵ و ۲۶) مطابقت دارد. همچنین افزایش بارندگی در ماه‌های دسامبر و نوامبر را می‌توان به عواملی همچون خطا در اجرای مدل یا در نظر نگرفتن عواملی دانست که احتمالاً در پیش‌بینی بارش نقش داشته‌اند ولی در این تحقیق مد نظر قرار نگرفته‌اند.

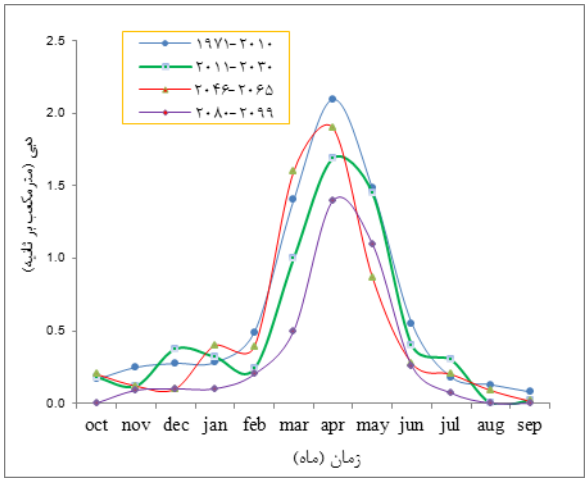
۴-۳-۲ بررسی تغییرات دمای حداکثر و حداقل

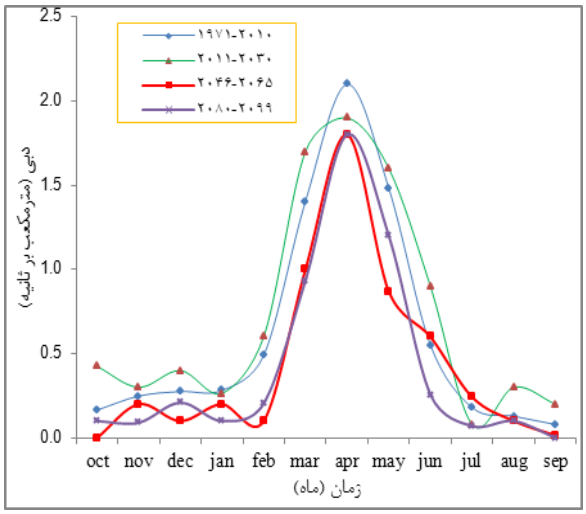
با بررسی شکل ۵ مشاهده می‌شود دمای حداقل و حداکثر در اکثر ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. یکی از پیامدهای افزایش گازهای گلخانه‌ای، افزایش دما می‌باشد. در صورتی‌که تولید گازهای گلخانه‌ای در طول قرن ۲۱ افزایش یابد به تبع آن دمای کره زمین نیز افزایش می‌یابد. IPCC، (۲۰۰۷). یکی از اثرات تغییر اقلیم تأثیر بر روی آستانه‌ها می‌باشد. نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان داد که آستانه‌ها (دمای حداکثر و حداقل) به شدت تحت تأثیر قرار گرفته‌اند که با نتایج تحقیقات (۲۷ و ۲۸) مطابقت دارد ولی با نتایج تحقیقی که (۲۹) در جنوب غرب کشور انجام دادند تطابق ندارد. احتمالا دلیل این امر تاثیر پذیری این مناطق از توده‌های آب و هوایی متفاوت می‌باشد به‌طور مثال حوزه آبخیز بار نیشابور بیشتر تحت تأثیر توده آب و هوایی است که از طرف سیبری و غرب وارد کشور شده و منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ولی جنوب غرب کشور بیشتر تحت تأثیر آب و هوایی است که از سمت جنوب غرب منطقه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که در طول قرن ۲۱ تابش نسبت به دوره پایه عموماً افزایش پیدا می‌کند.

۴-۴ شبیه سازی تأثیر تغییر اقلیم روی رودخانه بار نیشابور

نتایج حاصل از مدل‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل IHACRES در تحت سه سناریو و برای سه دوره آتی ارایه شده است (شکل ۵).







شکل ۵- هیدروگراف برآوردی حوزه بار طی دوره‌های مورد پیش‌بینی و تحت سناریو A1B ,A2 و B1 با استفاده از مدلIHACRES

با توجه به نتایج شکل ۵ مشاهده می‌شود که در نیمه دوم قرن دبی اوج رودخانه تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. دبی اوج در دوره-های آتی به شدت کاهش پیدا می‌کند به عنوان مثال با توجه به نتایج حاصل از سناریو A2 در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ دبی اوج حدود ۱/۵ متر مکعب بر ثانیه نسبت به دوره مشاهداتی کاهش پیدا می‌کند. نتایج شکل ۵ نشان می‌دهد که میزان جریان رودخانه به طور متوسط در سه دوره مورد مطالعه (۲۰۳۰-۲۰۱۰، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹- ۲۰۸۰) به ترتیب ۹، ۴۴ و ۶۶ درصد کاهش می‌یابد. افزایش دما و کاهش بارش از جمله عوامل موثر بر کاهش جریان رودخانه در این دوره‌ها می‌باشد. با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که در دو دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹- ۲۰۸۰ جریان رودخانه در ماه‌های گرم به خصوص ماه‌های جولای، اوت، دسامبر و اکتبر خشک شده و رودخانه از حالت دایمی به فصلی تبدیل می‌شود. احتمالاً دلایل این امر، افزایش میزان دما، مخصوصاً در دوره‌های سرد، کاهش بارش برف و همچنین ذوب شدن بیشتر برف قبل از رسیدن به ماه‌های گرم باشد. این تغییر رفتار رودخانه از حالت دائمی به فصلی اثرات زیان‌باری روی محیط‌زیست رودخانه خواهد گذاشت در نتیجه گونه‌های مفید زیستی آن از بین رفته، گونه-های مهاجم و مضر جایگزین آن‌ها خواهد شد. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مبنی بر کاهش دبی رودخانه تحت‌شرایط تغییر اقلیم با نتایج به دست آمده توسط (۳۰ - ۳۲) مطابقت دارد.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از ارزیابی مدل LARS-WG حاکی از دقت بالای مدل در ریز مقیاس سازی بارش، دما و تابش می‌باشد. بعد از تولید متغیرهای مورد نیاز مدل بارش–رواناب IHACRES برای رودخانه بار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان که مدلIHACRES دقت قابل قبولی در مدل سازی جریان رودخانه دارد. سپس با استفاده از متغیرهای تولید شده, اقدام به پیش‌بینی جریان رودخانه بار تحت سه سناریوهای مختلف و دوره‌های(۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰) شد. نتایج هر سه سناریو حاکی از آن است که هر چه به انتهای قرن ۲۱ نزدیک می‌شویم جریان رودخانه از حالت دایمی به جریان نیمه‌دایمی تبدیل شده و جریان رودخانه در بعضی ماه‌ها خشک می‌شود. نیمه‌دایمی شدن جریان تبعات منفی زیادی بر اکوسیستم منطقه خواهد گذاشت. آگاهی از این تغییرات احتمالی می‌تواند مدیران را در مدیریت بهتر منابع آب یاری نماید.

منابع

1. Samadi, S., et al. "Statistical downscaling of river runoff in a semi arid catchment." *Water resources management* 27.1 (2013): 117-136.
2. Bates, B., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., & Palutikof, J. (2008). *Climate change and water*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

۳. زارع زاده مهریزی، م.، ۱۳۸۹. تخصیص منابع آب حوضه آبریز قزل اوزن-سفید رود تحت تأثیر تغییر اقلیم با به کارگیری رویکرد ورشکستگی در حل اختلافات. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۹۷ص.

4. Racsko, P., Szeidl, L., & Semenov, M. (1991). A serial approach to local stochastic weather models. Ecological modelling, 57(1), 27-41.
5. Semenov, M. A., Barrow, E. M., & LARS-WG, A. (2002). A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies.
6. Semenov, M. A. and R. J. Brooks (1999). "Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain." Climate Research 11(2): 137-148.
7. Mkankam Kamga, F. (2001). "Impact of greenhouse gas induced climate change on the runoff of the Upper Benue River (Cameroon)." Journal of Hydrology 252(1): 145-156.
8. Hammond, M. and D. Han (2006). "Recession curve estimation for storm event separations." Journal of Hydrology 330(3): 573-585.
9. Huang, S., Krysanova, V., & Hattermann, F. F. (2013). Projection of low flow conditions in Germany under climate change by combining three RCMs and a regional hydrological model. Acta Geophysica, 61(1), 151-193.

۱۰. مساح بوانی، ع.، ۱۳۸۵. ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تاثیر آن بر منابع آب مطالعه موردی: حوضه زاینده رود اصفهان، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.

۱۱. قربانی زاده خرازی ح.، صدقی ح.، ثقفیان ب.، پرهمت ج.، ۱۳۸۹: پیش‌بینی توزیع زمانی جریان رواناب ناشی از ذوب برف در نیم قرن آینده تحت شرایط تغییر اقلیم، فصل‌نامه مهندسی آب، ۱(۱): ۵۹-۵۱.

۱۲. الهی گل، ع.، حجام، س.، ۱۳۸۵. بررسی اثرات تغییر دما و بارش بر روی رواناب حوضه آبریز امامه (استان تهران). دومین همایش ملی منابع آب ایران. اصفهان.

۱۳. سعادات آشفته. پ.، مساح بوانی. ع.، ۱۳۸۹. تاثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر: مطالعه موردی، حوزه آیدوغموش، آذربایجان شرقی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب وخاک. (۵۳)۱۴، صفحه ۳۸-۲۸.

۱۴. مدرسی. ف.، عراقی نژاد، ش.، ابراهیمی، ک.، خلقی، م.، (۱۳۹۰). بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان آبدهی سالانه رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه گرگانرود). نشریه آب و خاک، (۶)۲۵،صفحه ۱۳۷۷-۱۳۶۵.

۱۵. توسلی، ا.، صادقی س.ح.ر.، مرادی ح.ر.، ۱۳۸۹: شبیه سازی تغییرات درون رگباری ضریب روان آب با استفاده از مولفه‌های بارشی در حوزه‌ی آبخیز بار نیشابور، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران،۴ (۱۰): ۳۳-۲۱.

۱۶. زراعتی نیشابوری، ح.، ۱۳۸۵. تلفیق آب‌های سطحی و زیرزمینی حوزه آبریز نیشابور، پایانامه کارشناسی

آب‌های زیرزمینی، دانشگاه جامع علمی- کاربردی مشهد، ۲۸۳ ص.

17. Croke, B. F. W., & Jakeman, A. J. (2008). Use of the IHACRES rainfall-runoff model in arid and semi-arid regions. Hydrological Modelling in Arid and Semi-Arid Areas. International Hydrology Series. Cambridge University Press, New York, 41-48.
18. Motovilov, Y. G., Gottschalk, L., Engeland, K., & Rodhe, A. (1999). Validation of a distributed hydrological model against spatial observations. Agricultural and Forest Meteorology, 98, 257-277.
19. Carcano, E. C., Bartolini, P., Muselli, M., & Piroddi, L. (2008). Jordan recurrent neural network versus IHACRES in modelling daily streamflows. Journal of Hydrology, 362(3), 291-307.
20. Littlewood, I. G., Clarke, R. T., Collischonn, W., & Croke, B. F. (2007). Predicting daily streamflow using rainfall forecasts, a simple loss module and unit hydrographs: Two Brazilian catchments. Environmental Modelling & Software, 22(9), 1229-1239.
21. Jakeman, A. J., Littlewood, I. G., & Whitehead, P. G. (1990). Computation of the instantaneous unit hydrograph and identifiable component flows with application to two small upland catchments. Journal of hydrology, 117(1), 275-300.
22. Zarghami, M., Abdi., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y., Kanani, R., (2011). Impacts of Climate Change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. Global and Plantary Change. 78 (2011) 137–146

۲۳. بابائیان، ا.، نجفی نیک، ز.، زابل عباسی، ف.، حبیبی نوخندان، م.، ادب، ح.، ملبوسی، ش.، ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو، مجله جغرافیا و توسعه، (۱)۱۶، صفحه ۱۵۲-۱۳۵.

۲۴. مشکواتی، ا.ح.، کردجزی، م.، بابائیان، ا. ۱۳۸۹. بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه سازی داده-های هواشناسی استان گلستان در دوره ۲۰۰۷-۱۹۹۳. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی ۹۶-۸۱ : (۱۹).

۲۵. آذرانفر، آ.، ابریشمچی، ا. و تجریشی، م. ۱۳۸۵. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بارش و دما در حوضه آبریز زاینده رود با استفاده از خروجی مدل های چرخش عمومی. دومین همایش ملی منابع آب ایران. اصفهان.

۲۶. الهی گل، ع.، حجام، س.، ۱۳۸۵. بررسی اثرات تغییر دما و بارش بر روی رواناب حوضه آبریز امامه (استان تهران). دومین همایش ملی منابع آب ایران. اصفهان.

27. Elo, A. R., Huttula, T., Peltonen, A., & Virta, J. (1998). The effects of climate change on the temperature conditions of lakes. Boreal environment research, 3, 137-150.

۲۸. خلیلی اقدم، ن.، مساعدی، ا.، سلطانی، ا.، کامکار، ب.، ۱۳۹۱. ارزیابی توانایی مدل LARS-WG در پیش‌بینی برخی از پارامترهای جوی سنندج. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. (۴):۱۰۳. ۱۹-۸۵.

29. Etemadi, H. (2012). Statistical Downscaling of Climatic Variables in Shadegan Wetland, Iran.

۳۰. حسنی، خ.، ۱۳۹۱. ارایه راهکارهای سازگاری با اثرات تغییر اقلیم بر مدیریت مخزن سد در دوره

های آتی، مطالعه موردی سد شاهچراغی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.۱۵۰ص.

۳۱. حیدری، ع، ر.، ۱۳۹۰. ارزیابی سناریوهای مختلف تغییر اقلیم بر تخصیص از مخازن چند منظوره (مطالعه موردی: سد امیر کبیر)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.۱۵۶ص.

۳۲. دوستی، م.، ۱۳۹۱. ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دبی جریان با کاربرد مدل بارش-رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبخیز تمر، استان گلستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ساری.